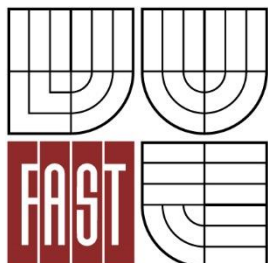




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

Faculty Of Civil Engineering  
Institute of Water Structures

## POSOUZENÍ VODNÍHO DÍLA TĚŠETICE ZA POVODNÍ

SAFETY ASSESMENT OF THE TĚŠETICE DAM DURING FLOODS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETR VANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN JANDORA, Ph.D.

BRNO 2015



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Petr Vaněk
<b>Název</b>	Posouzení vodního díla Těšetice za povodní
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2015
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

**Podklady a literatura**

TNV 75 2935 - Posuzování bezpečnosti vodního díla povodních

Boor, B., Kunštátský, J., Patočka, C. 1968. Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha

Manipulační řád pro vodní nádrž Těšetice

**Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Náplní diplomové práce bude posouzení bezpečnosti VD Těšetice při povodních podle TNV 75 2935. Mimo vlastní posouzení a prověření bezpečnosti VD Těšetice při povodních budou také navržena opatření, která povedou ke zvýšení bezpečnosti VD Těšetice.

Požadavky na zpracování bakalářské práce:

1. Posouzení mezní bezpečné hladiny pro převedení kontrolní povodňové vlny,
2. Navržení opatření ke zvýšení bezpečnosti.


Práce bude zpracována podle TNV 75 2935 a bude obsahovat:

- A. Úvodní část
- B. Účel a popis VD Těšetice
- C. Základní údaje a podklady
  - C.1. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni
  - C.2. Hydrologické podklady
  - C.3. Technické parametry a podklady
  - C.4. Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni
  - C.5. Hydraulické výpočty
- D. Stanovení mezní bezpečné hladiny
- E. Stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži
- F. Závěrečné zhodnocení
- G. Nápravná a nouzová opatření
- H. Použité podklady
- I. Seznam příloh

**Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

  
.....  
doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

V rámci této diplomové práce je provedeno zhodnocení stávajícího stavu VD Těšetice při převedení KPV s parametry  $Q_{1000}$ . Na základě výsledku posouzení navrhnout nápravná opatření na zabezpečení vodního díla za povodní. Nápravná opatření budou spočívat v návrhu nových nebo doplňkových bezpečnostních prvků, zejména nového bezpečnostního přelivu v závazání hráze do rostlého terénu.

**Klíčová slova**

Posouzení stávajícího stavu vodního díla, mezní bezpečná hladina, kontrolní povodňová vlna, posouzení vodního díla za povodní, sdružený bezpečnostní objekt.

**Abstract**

The Diploma Thesis focuses on the assessment of the current state of VD Těšetice to convert KPV parameters  $Q_{1000}$ . Based on this evaluation, the thesis proposes corrective actions on waterwork constructions for the purpose of protection of their functioning during floods. Proposed corrective actions consist of designing new or additional safety features, mainly security spillway in abutment terrain.

**Keywords**

Assessment of the current state water structure, maximum permissible water level, control flood wave, the assessment of water structure during floods, the associated security facility.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Petr Vaněk *Posouzení vodního díla Těšetice za povodní*. Brno, 2015. 52 s., 81 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.  
Vedoucí práce doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2016

.....  
podpis autora  
Bc. Petr Vaněk

---

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP**

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15.1.2016

.....  
podpis autora  
Bc. Petr Vaněk

### **Poděkování:**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Janu Jandorovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky a obětavý přístup při hledání podkladů k zpracování této práce. Dále děkuji Ing. Milanu Drahošovi z VD – TBD a.s., který umožnil prohlídku hráze i vnitřních prostor při pravidelném měření v rámci technickobezpečnostního dohledu TBD.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu během zpracování diplomové práce.



## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>2</b>	<b>STRUČNÝ POPIS VD TĚŠETICE</b> .....	<b>- 2 -</b>
2.1	ÚČEL VODNÍHO DÍLA .....	- 2 -
2.2	POPIS VODNÍHO DÍLA .....	- 3 -
2.3	ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY .....	- 9 -
<b>3</b>	<b>TEORETICKÉ POSTUPY PRO ZPRACOVÁNÍ VÝPOČTŮ</b> .....	<b>- 11 -</b>
3.1	PROGRAM VHRES 1.00 .....	- 11 -
3.2	PRINCIP VÝPOČTU USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ METODOU PO ÚSECÍCH .....	- 13 -
<b>4</b>	<b>POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU</b> .....	<b>- 15 -</b>
4.1	STÁVAJÍCÍ STAV .....	- 15 -
4.2	VÝSLEDNÉ POSOUZENÍ VD ZA POVODNÍ .....	- 17 -
4.3	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ STAVU.....	- 18 -
4.4	PROVÁDĚNÁ ÚPRAVA PŘELIVU VD TĚŠETICE.....	- 19 -
<b>5</b>	<b>NÁVRH OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA ZA POVODNÍCH</b> .....	<b>- 20 -</b>
5.2	STRUČNÝ PŘEHLED NÁVRHOVÝCH VARIANT .....	- 21 -
5.3	NÁVRHOVÁ VARIANTA „A“ .....	- 22 -
5.4	NÁVRHOVÁ VARIANTA „B“ .....	- 27 -
5.5	NÁVRHOVÁ VARIANTA „C“ .....	- 32 -
5.6	NÁVRHOVÁ VARIANTA „D“ .....	- 36 -
5.7	NÁVRHOVÁ VARIANTA „E“ .....	- 38 -
<b>6</b>	<b>ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	<b>- 39 -</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA, ELEKTRONICKÉ ZDROJE</b> .....	<b>- 40 -</b>
7.1	LITERATURA .....	- 40 -
7.2	ZÁKONY, NORMY, PŘEDPISY, VYHLÁŠKY.....	- 40 -
7.3	ELEKTRONICKÉ ZDROJE .....	- 40 -
<b>8</b>	<b>REJSTŘÍK</b> .....	<b>- 41 -</b>
8.1	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	- 41 -
8.2	SEZNAM TABULEK.....	- 41 -
8.3	SEZNAM PŘÍLOH .....	- 41 -
8.4	SEZNAM SYMBOLŮ .....	- 43 -

# 1 ÚVOD

Vodní dílo Těšetice je závlahová nádrž vybudovaná na přelomu 80. a 90. let 20. stol. Jedná se o sypanou zemní hráz s těsnicím jádrem. Přehrada byla v době výstavby navržena za jiných norem a předpisů. Také byla navržena za jiných hydrologických podkladů než ty, které jsou k dispozici dnes.

Základem mé práce je posoudit stávající stav VD Těšetice na převedení KPV s parametry  $Q_{1000}$ . A podle výsledku tohoto posudku navrhnout nápravná řešení tohoto nevyhovujícího stavu.

Výsledná nápravná opatření můžeme rozdělit do několika variant. Velmi stručně, jednou z variant je návrh doplňkového bočního přelivu. Rozpracovány jsou dvě možné varianty umístění – pravém i levém zavázání hráze. Další možnou variantou je nový sdružený bezpečnostní objekt na místo stávajícího. Dále pak je prověřena varianta s úpravou stávajícího objektu doplněná o nový přeliv v pravém zavázání hráze. Nakonec je popsána možnost zvýšení koruny těsnicího jádra v kombinaci s některou výše uvedenou variantou.

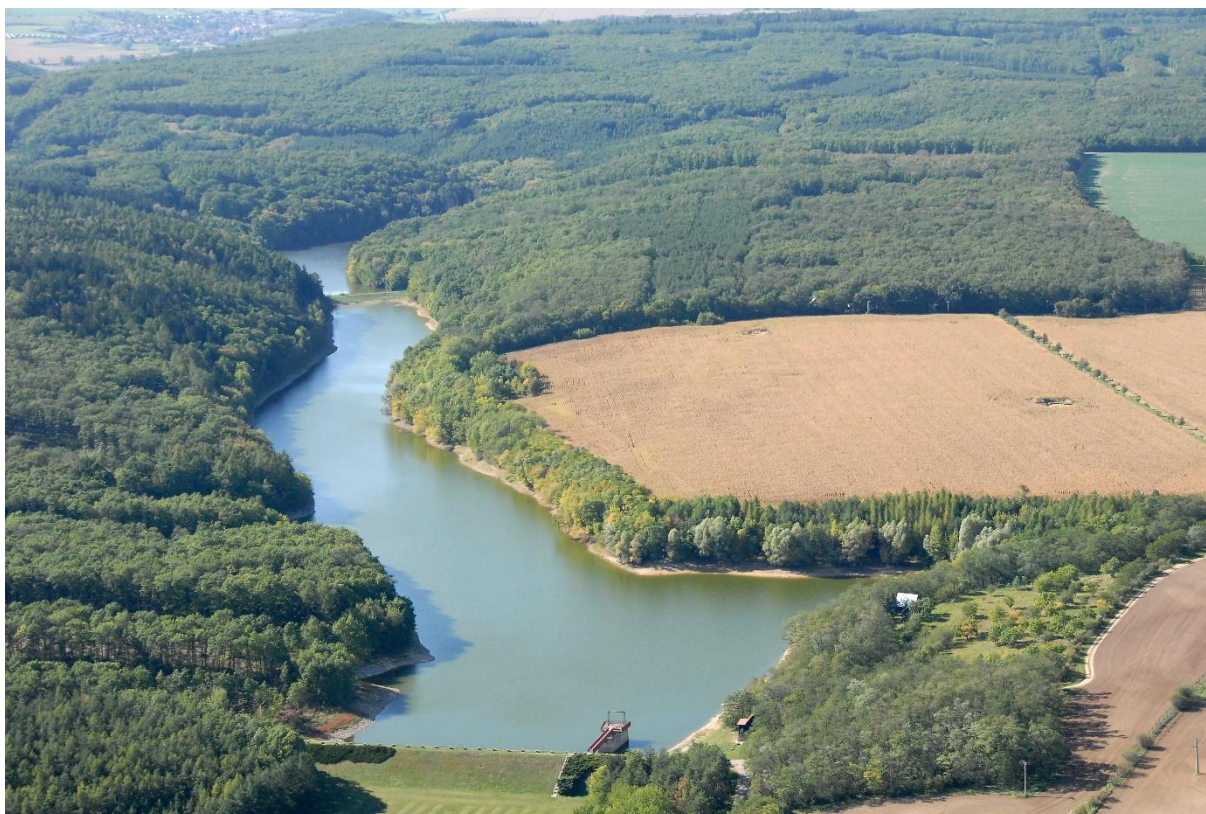
## **Hlavními cíli práce je vypracovat tyto témata:**

- Posouzení stávajícího stavu VD Těšetice.
- Určení mezní bezpečné hladiny (MBH).
- Návrh opatření pro splnění požadavků ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.

## 2 STRUČNÝ POPIS VD TĚŠETICE

VD Těšetice (obr. 2.1) se nachází v Jihomoravském kraji, cca 1 km severozápadně od stejno- jmenné obce. Přehrada je postavena na toku Únanovka (ČHP 4-14-03-036) v km 6,300.

Výstavba vodního díla byla zahájena v 09/1979 a ukončena v 06/1983. Vlastní násyp hráze byl prováděn ve třech etapách v letech 1981–1983. Ověřovací provoz probíhal od 1. 9. 1983, kdy začalo napouštění nádrže. V roce 1986 bylo VD uvedeno do trvalého provozu.



**Obr. 2.1** Letecký snímek VD Těšetice (převzato z MŘ [1])

### 2.1 ÚČEL VODNÍHO DÍLA

Účel vodního díla:

- zabezpečení akumulace vody pro závlahy 286 ha sadů a vinic (květen až říjen 15 l/s až 52 l/s),
- zajištění minimálních zůstatkových průtoků,
- částečná transformace povodňových průtoků,
- rybářské využití – vodní nádrž Těšetice je využívána pro sportovní rybolov.

#### Rozdělení prostoru nádrže

	Kóta hladiny [m n. m.]	Plocha [ha]	Objem [mil. m <sup>3</sup> ]
<b>Prostor stálého nadržení</b>	236,00 – 242,70	7,2	0,228
<b>Zásobní prostor</b>	242,70 – 248,03	12,0	0,541
<b>Neovladatelný retenční prostor</b>	248,03 – 248,70	12,7	0,083
<b>Celkový prostor</b>	236,00 – 248,70	12,7	0,852

## 2.2 POPIS VODNÍHO DÍLA

### 2.2.1 Hráz vodního díla

Vzdouvacím objektem vodního díla je nehomogenní sypaná hráze z místních materiálů, s širokým středním těsněním s přitěžovacími lavicemi. Jádru je oboustranně přisypáno terasovými štěrky.

Návodní svah je proveden ve sklonu 1:3,3, je opevněn pohozelem z kamene 63 – 120 mm v tl. 0,4 m a 90 – 300 mm v tl. 0,3 m na štěrkopískové filtrační vrstvě zrna 4 – 16 mm v tl. 0,15 m. Vzdušní svah (obr. 2.2) je proveden ve sklonu 1:1,9, přitěžovací lavice ve sklonu 1:8,5, svah je ohumusován a oset.

Koruna hráze není zpevněna, je ohumusována a oseta. Pro odvedení průsaků z tělesa slouží patní drenáž zaústěná do vývaru.

Kóta koruny hráze	249,50 m n. m. (min. 249,47 m n. m.)
Kóta koruny těsnícího jádra	249,00 m n. m. (min. 248,97 m n. m.)
Kóta nejnižšího místa v údolí	235,60 m n. m.
Délka hráze v koruně	154,0 m
Max. výška hráze nad základ. spárou	15,3 m
Výška hráze nad terénem	13,9 m
Šířka koruny hráze	3,0 m



**Obr. 2.2** Pohled na vzdušní svah hráze



## 2.2.2 Sdružený (manipulační) objekt

Veškerá zařízení pro vypouštění a přepad vody z nádrže jsou soustředěna ve sdruženém objektu hráze (obr. 2.3). Tento objekt má tyto hlavní části:

- šachtový přeliv,
- odpadní chodbu,
- vývar,
- spodní výpusti a strojovnu uzávěrů spodní výpusti.



**Obr. 2.3** Sdružený manipulační objekt

### 1 - šachtový přeliv

Přeliv je umístěn ve sdruženém objektu hráze. Jde o volný přeliv, má dvě přelivné hrany o délce 2 x 6,5 m umístěné na protilehlých stěnách přelivné odpadní šachty lichoběžníkového průřezu (obr. 2.4). Odpadní šachta ústí přechodovou částí do odpadní chodby obdélníkového průřezu.

Úroveň koruny přelivu	248,03 m n. m.
Délka přelivné hrany	2x6,5 m = 13,00 m
Kóta dna šachty	237,00 m n. m.
Kapacita přelivu při kótě 248,70 m n. m.	15,4 m <sup>3</sup> /s



**Obr. 2.4** Přelivná hrana šachtového přelivu

## 2 - odpadní chodba

Odpadní chodba (obr. 2.5) sestává z 9 bloků, má obdélníkový profil. Pravá polovina dna chodby je zvýšená o 0,15 m a tvoří chodník pro pochůzky obsluhy VD. Na levé stěně chodby je na konzolách umístěno závlahové odběrné potrubí DN 500, ve vzdálenosti 1,90 m od konce chodby odbočuje odběrné potrubí prostupem v levé stěně chodby do armaturní šachty. Nad portálem chodby jsou osazeny konzoly s tyčí, na které je možné zavěsit textilní clonu pro uzavření chodby v zimním období. Vstup do chodby je zajištěn žebříkem z levé vývarové zdi.

Délka chodby	61,00 m
Vnitřní světlá šířka	2,40 m
Vnitřní světlá výška (v trase kynety)	2,50 m
Vnitřní světlá výška (v trase chodníku)	2,35 m
Spád chodby	3 ‰





**Obr. 2.5** Odpadní chodba se závlahovým potrubím

#### **4 - spodní výpusti**

Spodní výpusti DN 500 jsou dvě, na různých úrovních (obr. 2.6). Osa pravé výpusti je na kótě 239,00 m n. m. s odbočkou pro přívod vody do čerpací stanice, osa levé výpusti na kótě 237,80 m n. m. Vtokový objekt se šachtou je vybudován v základovém bloku sdruženého objektu. Na vtoku do výpusti jsou osazeny rámové vytahovatelné česle zasazené v ocelové drážce. Dále ve směru proudění vody jsou hradidlové tabule zavěšené na táhlech, a vtokové přechodové kusy.

Uzávěry výpusti jsou třmenová šoupátka, ovládaná ručně. První šoupátka, směrem po toku vody, jsou návodní uzavěry, druhá šoupátka, směrem po toku vody, jsou provozní uzavěry. Obě výpusti jsou před návodními uzavěry, propojeny obtokovým potrubím, uzavíratelným ručně ovládanými šoupátky. Na obtokové potrubí je odbočkou napojeno potrubí asanačního odtoku vody, uzavíratelné ručně, ovládáno šoupátkem. Výpustná potrubí jsou za druhým šoupátkovým uzavěrem zavzdušněna potrubím, ústícím do zavzdušovacího potrubí šachtového přelivu. Uzávěry jsou ovládané z dolní části manipulační šachty.

##### *Kapacita obou spodních výpustí*

- |                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| - při hladině na kótě 248,03 m n. m. | 3,26 m <sup>3</sup> /s, |
| - při hladině na kótě 248,70 m n. m. | 3,37 m <sup>3</sup> /s. |



**Obr. 2.6** Vyústění spodních výpustí do odpadní štol

### **3 - vývar**

Vývar (obr. 2.7) navazuje na odpadní chodbu, sestává z jednoho bloku bez svislých dilatačních spár. Vývar je ve dně obdélníkového půdorysu se zdmi tvořícími zborcenou plochu. Stěny vývaru jsou obloženy lomovým kamenem. Do vývaru jsou zaústěny patní drény hráze  $\phi 200$  mm a potrubí  $\phi 300$  mm pro převedení vody po dobu stavby, do kterého je zaústěno odvodnění manipulační šachty.

Celková délka vývaru	20,00 m
Délka dna vývaru	9,00 m
Šířka dna vývaru	3,00 m
Sklon zdi vývaru	5 : 1 do 1 : 1,5
Kóta dna	232,30 m n. m.
Kóta prahu vývaru	234,00 m n. m.





Obr. 2.7 Opevněný vývar

### 2.2.3 Odpadní koryto pod hrází

Odpadní koryto je směrově i výškově navázáno na koryto Únanovky. Tvar koryta je lichoběžníkový, patka koryta je zpevněna laťovým plůtkem, dno je zpevněno pohozem, svahy vegetačními tvárniciemi do výšky 0,6 m, výše pak jsou svahy ohumusovány a osety [1].

Délka koryta	189 m
Šířka koryta ve dně	3,0 m (s postupným zúžením na 1,0 m)
Sklon svahů koryta	1 : 1,5 (s postupným přechodem na 1:2)
Kóta patky koryta	234,00 m n. m.



Obr. 2.8 Odpadní koryto pod hrází

## 2.3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY

### 2.3.1 Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodních

VD Těšetice je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazeno podle ČSN 75 2935 [6] do III. kategorie.

Na základě tabulky – „Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni“ [6] se VD Těšetice řadí do skupiny vodních děl s označením B jako „VYSOKÉ“ z hlediska pravděpodobných škod při hypotetické havárii vodního díla. Skupina se dělí na dvě podskupiny – u první „ztráty lidských životů se očekávají“, u druhé pak „ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné“. U první podskupiny je požadovaná míra bezpečnosti  $N = 1\,000$  let, u druhé pak  $N = 200$  let.

Vzhledem k potenciálnímu riziku ohrožení lidských životů byla za požadovanou míru bezpečnosti díla zvolena pravděpodobnost výskytu kulminace  $KPV = PV_{1\,000}$  (doba opakování  $N = 1\,000$  let).

Pro vypracování posouzení je nezbytným podkladem hydrogram teoretické  $N$ -letépovodňové vlny určené  $N$ -letým kulminačním průtokem, tvarem hydrogramu a příslušným objemem.

### 2.3.2 Stanovení mezní bezpečné hladiny MBH

Dle [6] lze uvažovat u zemních sypaných hrází jako nepravděpodobnější příčinu porušení hráze přelévání koruny, respektive těsníciho jádra.

Mezi další faktory, které mohou ovlivnit hodnotu **mezní bezpečnou hladinu (MBH)** patří především výběh větrové vlny (kap. 2.3.4). Výpočtem bylo zjištěno, že max. výběh větrové vlny s pravděpodobností překročení 13 %, je 0,62 m. Vzhledem ke krátkodobému trvání extrémní hladiny v nádrži (řádově jednotky hodin) a velmi nízké pravděpodobnosti souběhu obou nepříznivých jevů (výskyt max. hladiny při teoretické  $PV_{1\,000}$  a extrémního větru) nebyl výběh větrové vlny zohledněn při stanovení MBH.

**Mezní bezpečnou hladinu (MBH)** lze uvažovat jako předpokládanou minimální kótu koruny těsníciho jádra v tělese hráze – **248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod korunou hráze v nejnižším místě**, a to podle MŘ [1]. Tato kóta by měla být prověřena sondou, což se bohužel v rámci diplomové práce nepovedlo provést.

### 2.3.3 Hydrologické poměry

Základní hydrologické údaje pro tok Únanovka v profilu hráze VD Těšetice byly použity z hydrologické studie pro VD Těšetice [2].

Hydrologické číslo povodí	4-14-03-036
Plocha povodí	23,38 km <sup>2</sup>
Prům. roční výška srážek na povodí za období 1931–1980	500 mm
Prům. roční průtok za období 1931–1980	0,033 m <sup>3</sup> /s

Průběhy teoretických povodňových vln byly vypracovány standardními metodickými postupy – dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.

**Tab. 2.1 N** – leté průtoky a objemy teoretických povodňových vln při n-letých  $Q$ 

N	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
$Q [m^3/s]$	2,0	2,7	4,3	6,4	9,3	15,0	21,0	28,8	42,7	56,5
$W_N [tis. m^3]$	183,5	236,0	337,5	443,5	579,0	813,0	1038	1313	1766	2190

Všechny odvozené hydrologické veličiny s dobou opakování od  $N=1$  až  $N=100$  let spadají do třídy spolehlivosti II. Veličiny pro  $N > 100$  až do  $N = 1\,000$  let jsou zařazeny do třídy spolehlivosti III.

#### Stanovení kontrolní povodňové vlny KPV:

Pro VD Těšetice je požadována KPV s pravděpodobností výskytu  $p_Q = 0,001$ , tedy **KPV<sub>1000</sub>** s parametry:

$$KPV_{1\,000} \rightarrow Q_{1\,000} = 56,5 \, m^3/s, W_{PV\,1\,000} = 2,19 \, mil. \, m^3 \text{ viz Výpočtová část – příloha č. 9}$$

### 2.3.4 Výběh větrové vlny na návodní svah

Výpočet výběhu větrové vlny podle normy ČSN 75 0255 [8]

Efektivní délka rozběhu větru

$$L_{ef} = 310 \, m$$

Hloubka vody v nádrži

$$H = 11 \, m$$

Návrhová rychlost větru nad přilehlým terénem

$$w_{10z} = 25 \, m/s$$

Návrhová rychlost větru nad hladinou

$$w_{10v} = k \cdot w_{10z} = 27,00 \, m/s$$

Parametry vlny pro hluboké pásmo (pravděpodobnost překročení 13%):

Charakteristická výška vlny

$$h_c = 0,52 \, m$$

Perioda vlny

$$T = 2,42 \, s$$

Délka vlny

$$\lambda_0 = 9,15 \, m$$

Minimální doba trvání větru potřebná k vyvolání ustáleného vlnění:

$$t_{\min} = 0,027 \cdot L_{ef} / T$$

$$t_{\min} = 3,5 \, min$$

Výška výběhu vlny na svah (pravděpodobnost překročení 1%):

$$h_{1\%} = k \cdot h_{c13\%}$$

$$h_{1\%} = 0,73 \, m$$

$$k = 1,4 \quad k \dots \text{součinitel pravděpod. překroč. 1 \%}$$

$$k_d = 0,8 \quad \text{pro kamenný pohoz (tab.)}$$

$$k_p = 1,2 \quad (\text{graf})$$

$$h_{v1\%} = k_d \cdot k_p \cdot h_{1\%}$$

$$h_{v1\%} = 0,70 \, m$$

Výška výběhu vlny na svah (pravděpodobnost překročení 13%):

$$h_{v13\%} = 0,85 \cdot h_{v1\%}$$

$$h_{v13\%} = 0,62 \, m$$

**Pro další použití jsou rozhodující výsledky výpočtu účinků vln s pravděpodobností překročení 13 %.**

## 3 TEORETICKÉ POSTUPY PRO ZPRACOVÁNÍ VÝPOČTŮ

### 3.1 PROGRAM VHRES 1.00

Program VHRES 1.00 byl vytvořen doc. Ing. Janem Jandorou Ph.D.

#### 3.1.1 Stručný popis

Programový produkt VHRES 1.00 řeší problematiku vodohospodářského řešení nádrže. Je vytvořen na základě numerického řešení bilanční rovnice přítoku, odtoku a akumulace vody v nádrži.

Program v sobě zahrnuje interaktivní editaci vstupních dat a vlastní výpočet. Zadávání vstupních dat je řešeno vestavěným editorem, který umožňuje uložení a načtení vstupních dat.

#### 3.1.2 Přednosti programu

Za hlavní přednosti považují, velkou míru interakce a jednoduchosti při práci s tímto softwarem. Jednoduchost je v tomto případě myšlena jako výhoda z toho důvodu, že při práci s tímto produktem jsou využity jen ty nejn nutnější údaje a nástroje pro správné vodohospodářské řešení jakékoli vodní nádrže.

Dále pak uživatelé ocení softwarovou kompatibilitu s tabulkovým kalkulátorem MS Excel, který poslouží nejen pro pohodlnou úpravu vstupních dat, ale i pro vyhodnocení výsledků.

#### 3.1.3 Základní výpočtové schéma

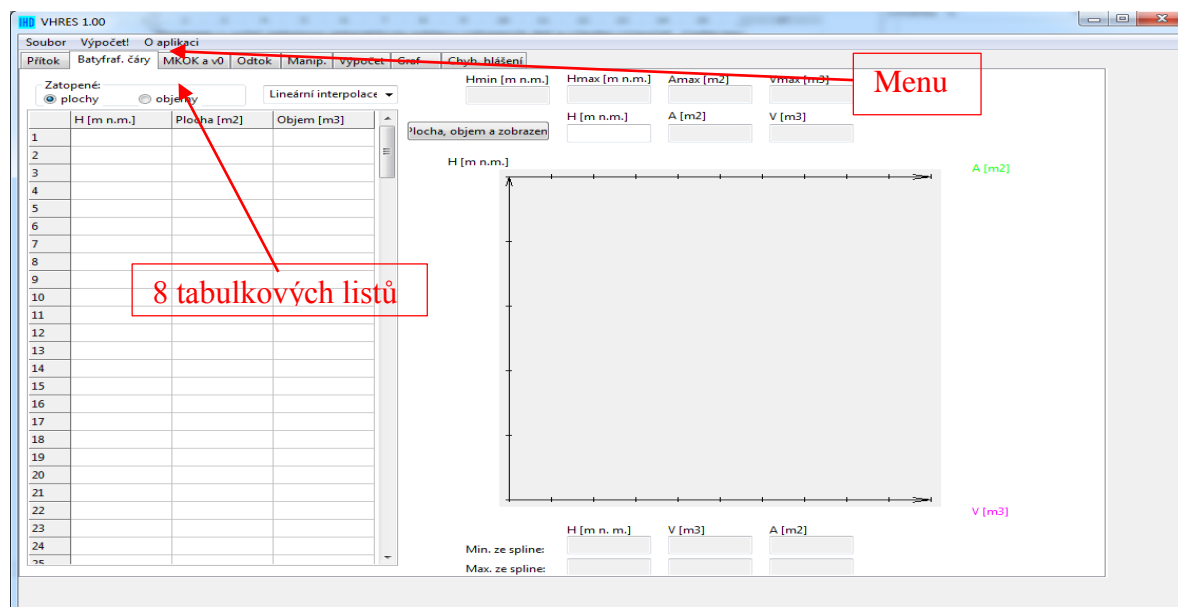
Základní výpočetní schéma (obr. 3.1 a 3.2) sestává z menu "*Soubor*", ve kterém jsou položky pro načtení a uložení vstupních dat a dále položka pro ukončení programu, a 8 tabulových listů. Prvních 5 listů obsahuje interaktivní editor pro zadávání vstupních dat:

- „*Přítok*“,
- „*Batygraf. čáry*“,
- „*MKOK a v0*“,
- „*Odtok*“,
- „*Manip.*“

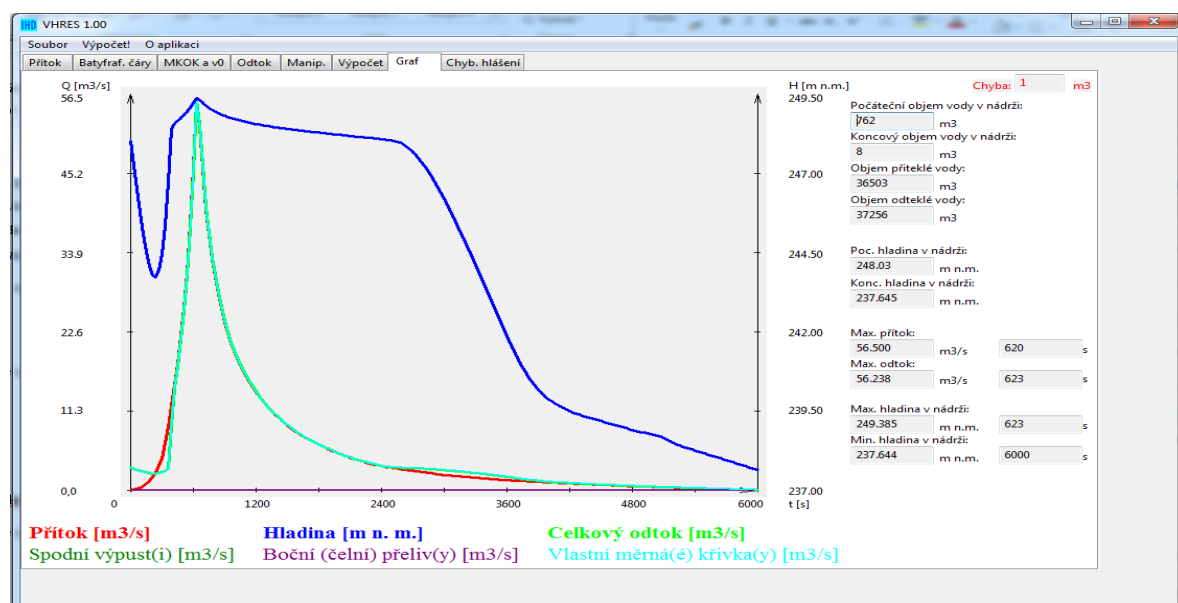
a 3 tabulové listy jsou pro:

- „*Výpočet*“ - vlastní spuštění výpočtu,
- „*Graf*“ – zjednodušené zobrazení výsledku řešení,
- „*Chyb. hlášení*“ - chybová hlášení. [3]





Obr. 3.1 Základní prostředí programu



Obr. 3.2 Grafický výstup

Program VHRES 1,00 byl vypracován pro vodohospodářská řešení transformace povodňových průtoků na vodních nádržích. Tímto softwarem je možné velmi zjednodušit všechny výpočty spojené s touto problematikou. Od výpočtu výpustných objektů přes průběh hladiny v nádrži po samotný transformační účinek vodního díla.

Výsledné zpracování výstupů má taktéž vysokou vypovídací hodnotu. Výsledky je možné získat formou textového souboru, které lze dále jednoduše upravit v MS Excel.

## 3.2 PRINCIP VÝPOČTU USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ METODOU PO ÚSECÍCH

### 3.2.1 Ustálené proudění vody v otevřených korytech

Při ustáleném proudění jsou průtok  $Q(x)$ , průřezová rychlost  $v(x)$ , průtočná plocha  $A(x)$ , atd. v **čase neměnné** a závisí pouze na poloze  $x$ . Rozlišujeme proudění:

- rovnoměrné;
- nerovnoměrné.

**Rovnoměrné proudění** - je zvláštním případem pohybu ustáleného, při kterém jsou průtočné průřezy na celém úseku konstantní ( $A_1 = A_2 = \dots = \text{konst.}$ ). Protože je při pohybu ustáleném i průtok  $Q$  konstantní, průřezové rychlosti jsou také konstantní ( $v_1 = v_2 = \dots = \text{konst.}$ ), to nastává např. při konstantním sklonu dna koryta, neměnných příčných profilech a drsnostech vedení.

**Nerovnoměrné proudění** - při nerovnoměrném ustáleném proudění jsou hydraulické veličiny konstantní v čase, ale průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu, což je dáno např. proměnným sklonem dna koryta, proměnných příčných profilech a drsnostech, atd.

### 3.2.2 Řešení nerovnoměrného pohybu metodou po úsecích

Obecné koryto proměnlivého příčného profilu se rozdělí na úseky o délkách  $\Delta L_j$ . V jednotlivých úsecích předpokládáme, že průtočné profily a tedy i rychlosti se mění spojitě z hodnot  $A_i, v_i$  v horním profilu na hodnoty  $A_{i+1}, v_{i+1}$  v dolním profilu. Necht' průměrný podélný sklon koryta daného úseku je  $i_{0j}$  a celková ztráta energie tohoto úseku  $h_{zj}$ . Pak pro srovnávací rovinu proloženou dnem dolního profilu (ve směru proudění) plyne z Bernoulliho rovnice pro všechna proudová vlákna profilů 1 a 2 (obr. 3.3):

$$i_{0j} \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}, \quad (3.1)$$

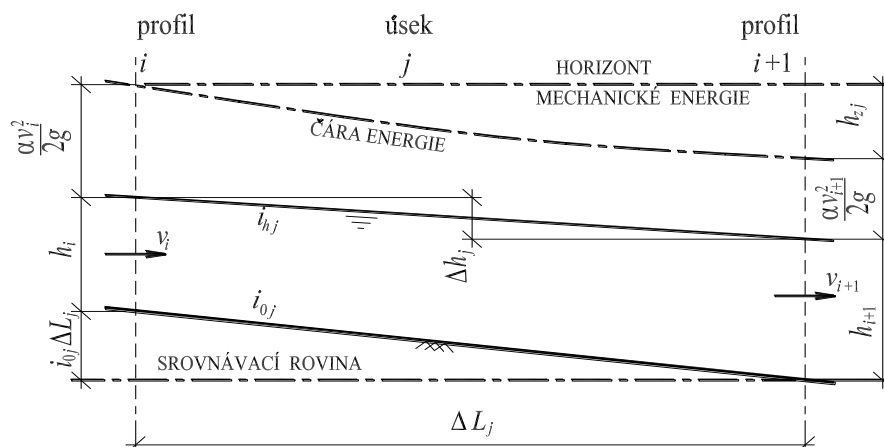
označíme-li rozdíl hladin na úseku  $j$   $\Delta h_j$ :

$$\Delta h_j = i_{0j} \Delta L_j + h_i - h_{i+1},$$

obdržíme po úpravě:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha (v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj}, \quad (3.2)$$

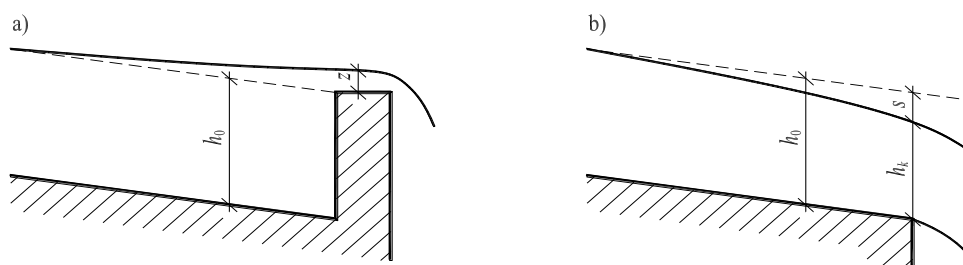
kde  $\alpha$  je Coriolisovo číslo, které předpokládáme konstantní na celém úseku a  $g$  tíhové zrychlení.



Obr. 3.3 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění

Druhý člen na pravé straně rovnice (3.3), značící rozdíl rychlostních výšek, může být:

- *záporný* - **křivka vzduť** (rychlost ve směru pohybu se zmenšuje) - obr. 3.4 a);
- *kladný* - **křivka snížení** (je zapotřebí vynaložit energii na překonání odporů a na zrychlení vody) - obr. 3.4 b).



Obr. 3.4 Křivky a) vzduť, b) snížení

**Celkové ztráty**  $h_{zj}$  na úseku  $j$  dostaneme jako součet ztrát třením  $h_{tj}$  a ztrát místních  $h_{mj}$ :

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj}. \quad (3.3)$$

**Ztráty třením** vyjadřujeme z Chézyho rovnice pro úsek  $j$ , který je ohraničen profily  $i$  a  $i+1$ :

$$h_{zt} = i_{pj} \Delta L_j, \quad (3.4)$$

kde  $i_{pj}$  je průměrný sklon čáry energie.

Výpočet  $i_{pj}$  můžeme provést několika způsoby:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{K_{pj}^2}, \quad K_{pj} = \frac{K_i + K_{i+1}}{2}, \quad K_i = C_i A_i \sqrt{R_i}, \quad (3.5)$$

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{A_{pj}^2 C_{pj}^2 R_{pj}}, \quad A_{pj} = \frac{A_i + A_{i+1}}{2},$$

$$C_{pj} = \frac{C_i + C_{i+1}}{2}, \quad R_{pj} = \frac{R_i + R_{i+1}}{2}. \quad (3.6)$$

Jako nejvhodnější se jeví použití vztahu, který dává i pro extrémní poměry prakticky stejné výsledky, a tím jsou vztahy (3.6) [4].

## 4 POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

### 4.1 STÁVAJÍCÍ STAV

Jednotlivé objekty, sloužící pro převádění povodňových průtoků přes vodní dílo a s nimi spojené výpočetní vztahy a měrné křivky znovu vypočteny. Všechny potřebné parametry jsou převzaty z MŘ [1].

Nově prověřeny a zpracovány jsou tyto objekty:

- Bezpečnostní přeliv.
- Spodní výpusti.
- Odpadní štola.

#### 4.1.1 Bezpečnostní přeliv

Kapacita je vypočtena dle rovnice (4.1). Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 5–7*).

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany (obou polí)	$b = 13,0 \text{ m.}$
Poloměr kruhové přeliv. hrany	$r = 0,45 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{PH} = 248,03 \text{ m n. m.}$
Průtok při MBH	$Q_n = 28,3 \text{ m}^3/\text{s.}$

Výpočet měrné křivky (MK) bezpečnostního přelivu byl proveden pro dokonalý přepad. Součinitel přepadu byl vypočítán dle Redhocka a dle Kramera do maximální hodnoty  $m = 0,50$ . Zatopení od dolní vody není uvažováno z důvodu, že přeliv přechází ve spadiště, které je pod úrovní přelivné hrany cca 11 m.

$$Q = \sigma_z \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}, \quad (4.1)$$

kde  $\sigma_z$  – součinitel zatopení,  
 $b_0$  – účinná délka přelivné hrany,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $m$  – součinitel přepadu,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

Účinná šířka přelivu  $b_0$  vychází z následujícího vztahu a zohledňuje velikost boční kontrakce. Bylo počítáno s dvěma kontrakcemi. Hodnota součinitele kontrakce byla stanovena na  $\xi = 1$ .

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (4.2)$$

kde  $b$  – délka přelivné hrany,  
 $n$  – počet kontrakcí,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $\xi$  – součinitel závislý na charakteru kontrakce.



### 4.1.2 Odpadní štola

Výpočet proudění v odpadní štolě bylo provedeno dle Chézyho. Štola byla řešena jako koryto. V odpadní štolě nesmí během povodňových průtoků dojít k tlakovému proudění. Z tohoto předpokladu vychází kapacita odpadní štoly.

Kapacita odpadní štoly je prověřena ve dvou alternativách:

- Bez zohlednění závlahového potrubí na konzolách a obslužného chodníku:
  - Průtočný profil cca 5,70 m<sup>2</sup>,
  - Drsnostní součinitel  $n = 0,017$  (hrubé obetonování),
  - $Q_{\text{kap}} = 50,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (proudění o volné hladině, cca 90 % plnění).
- Uvážení závlahového potrubí na konzolách a obslužného chodníku:
  - Průtočný profil cca 4,80 m<sup>2</sup>.
  - Drsnostní součinitel  $n = 0,020$  (hrubé obetonování).
  - $Q_{\text{kap}} = 33,4 \text{ m}^3/\text{s}$  (proudění o volné hladině, cca 90 % plnění).
  - Proudění bude při zvýšených průtocích, zejména kdy hladina dosáhne konzol závlahového potrubí a výše značně nerovnoměrné. Tento režim nelze popsat výše zmíněným výpočtem, ovšem lze předpokládat snížení průtočné kapacity.

Součástí odpadní štoly je také škrťací profil na hranici spadiště – odpadní štola. Tento zmenšený průřez slouží k zajištění proudění o volné hladině v štolě. Zavzdušnění je zajištěno potrubím DN 500 ve stropě štoly za tímto zúženým profilem. Výpočet kapacity tohoto profilu byl proveden dle rovnic pro hydraulicky malý i velký otvor ve svislé stěně.

Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 12 - 15*).

*Odpadní štola charakteristické parametry:*

Šířka odpadní štoly	$B = 2,4 \text{ m.}$
Výška odpadní štoly	$H = 2,5 \text{ m.}$
Délka odpadní štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Podélný sklon	$i = 0,03.$
Drsnost stěn	$n = 0,017.$

*Škrťací profil charakteristické parametry:*

Šířka otvoru	$B = 2,63 \text{ m.}$
Výška otvoru	$H = 1,67 \text{ m.}$
Délka štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Vtokový součinitel	$\mu = 0,82.$

### 4.1.3 Spodní výpusti

Výpočet kapacity spodních výpustí byl proveden dle rovnice (4.3). Dále pak nebyly uvažovány ztráty třením po délce, pouze ztráty na vtoku. Výtok spodních výpustí při výpočtech uvažují jako nezatopený.

Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 4 - 5*).

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4.3)$$

kde  $\mu$  – součinitel ztrát na vtoku,  
 $S$  – průtočná plocha,  
 $H$  – tlačná výška,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

*Kapacita obou spodních výpustí*

- při hladině na kótě 248,03 m n. m. 3,23 m<sup>3</sup>/s,
- při hladině na kótě 248,70 m n. m. 3,35 m<sup>3</sup>/s.

Kapacita SV vychází přibližně stejně jako v MŘ. Samotný efekt spodních výpustí při povodňových stavech je zanedbatelný, jelikož ústí do šachty spadiště společně s bezpečnostním přelivem. Protože při vyšších průtocích je kapacita spodních výpustí a bezpečnostního přelivu limitována kapacitou odpadní štol.

## 4.2 VÝSLEDNÉ POSOUZENÍ VD ZA POVODNÍ

Vodní dílo Těšetice se dle svého významu možného rizika ohrožení řadí dle ČSN 75 2935 [6] do III s označením výše škod při jeho porušení jako „STREDNÍ“.

Proto jako požadovaná míra bezpečnosti je KPV o  $N = 1000$  přičemž nesmí být překročena MBH = 248,97 m n. m.

Počáteční hladina v nádrži je v úrovni plného zásobního prostoru na kótě 248,03 m n. m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno.

**Manipulace během povodňových stavů je uvažována dle platného manipulačního řádu [1].**

### Parametry povodňové vlny s $P = 0,001$

Povodňová vlna s dobou opakování  $N = 10\ 00$  let stanovená dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.  $Q = 56,5$  m<sup>3</sup>/s,  $W = 2,19$  mil. m<sup>3</sup>.,  $t = 100$  hod.,  $t_{\text{kulminace}} = 11$  hod.

Posouzení transformace KPV bylo provedeno programem VHRES 1.00, výsledky jsou obsaženy v příloze (*Výpočtová část – příloha č. 11*).

Jako mezní bezpečnou hladinu (MBH) lze předběžně uvažovat kótu – 248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod nejnižším místě koruny hráze a 1,14 m nad kótu přelivu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle ČSN 75 2935 [6]:

$$KMH \leq MBH$$

**Výpočet:  $>249,50$  m n. m.  $\geq 248,97$  m n. m.  $\Rightarrow$  VD nevyhovuje pro převedení KPV**

**Převýšení KMH**

- nad maximální hladinou v nádrži  $M_{MAX} = 248,70$  m n. m.: + 1,30 m
- nad MBH = 248,97 m n. m.: + 0,53 m
- nad korunou hráze 249,50 (min 249,47) m n. m.: + 0,03 m

**Z výsledků plyne, že VD Těšetice – za stávající stavu - nebude zabezpečeno na průchod aktuální  $KPV_{1000}$  bez překročení MBH 248,97 m n. m. Nejenže bude překročena MBH, ale také bude překročena kóta koruny hráze 249,50 m n. m. a dojde k přelévání hráze.**

### **4.3 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ STAVU**

Negativní výsledek stávajícího stavu na VD Těšetice je jednoznačně způsoben špatným projekčním řešením odpadní chodby. Překážky v průtočném profilu způsobují snížení kapacity a vznik nerovnoměrného proudění při zvýšených průtocích.

Výpočty bylo dále prokázáno, že i škrťací profil na zlomu spadiště – odpadní štola není dostatečně kapacitní, za předpokladu že nebude dosaženo v šachtě spadiště vyšší hladiny než je kóta koruny přelivu. Při zvyšování hladiny v šachtě nad úroveň přelivu, lze teoreticky uvažovat, že průtok tímto profilem dosáhne požadovaného  $Q_{1000}$ . Tím dojde k zatopení přelivu.

Bezpečnostní přeliv taktéž není schopen převést  $Q_{1000}$  a to ani za předpokladu, že by hladina vystoupala na úroveň koruny hráze.

## 4.4 PROVÁDĚNÁ ÚPRAVA PŘELIVU VD TĚŠETICE

### 4.4.1 Identifikační údaje

Podnik Povodí Moravy, s. p. vydal v 05/2015 dokumentaci pro zvýšení retence na VD Těšetice. Předpokládané dokončení prací je odhadnuto na 12/2015 [5].

### 4.4.2 Předmět projektové dokumentace

Předmětem projektové dokumentace je úprava přelivné hrany na bezpečnostním přelivu sdruženého objektu VD Těšetice.

### 4.4.3 Popis stavebně – konstrukčního řešení

V úseku bezpečnostního přelivu bezprostředně navazujícím blok orientovaný směrem ke hrázi (zadní strana šachty spadiště, respektive opěra lávky) bude odstraněn stávající kamenný obklad půlkruhové přelivné plochy ( $R = 0,45$  m) v délce 1,80 m na pravém i levém přelivu.

Z ložné spáry obkladu budou mechanicky odstraněny uvolněné kusy betonové konstrukce, ložná spára bude očištěna tlakovou vodou, opatřena adhezním můstkem a sanována.

Nová přelivná plocha elipsovitého příčného řezu ( $a = 0,45$ ,  $b = 0,25$  m) bude tvořena kamenným obkladem kotveným do betonové konstrukce zdi přelivu. Pro lepení a spárování bude použita vysokopevnostní nenasákavá nenamrzavá lepicí / spárovací hmota vhodná pro použití na vodohospodářských stavbách.

Prvky kamenného opevnění na rozhraní snížené a nesnížené části přelivu budou nahrazeny novými prvky, jejichž ložná spára bude nejméně 0,30 m pod horním obrysem snížené přelivné plochy.

U ponechané části kamenného obkladu přelivné plochy bude odstraněna stávající spárovací hmota (mezi jednotlivými kamennými bloky i v prostoru ložné spáry obkladu) do hloubky min. 80 mm. Při odstraňování bude přednostně použita tlakové voda, následně bude provedeno mechanické odstranění odolnějších částí výplně spar a dočištění tlakovou vodou. Nové spárování bude provedeno analogicky se spárováním nové části přelivné plochy [5].

Úprava přelivné hrany je podrobně znázorněna půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – příloha č. 4 - 5*). Touto úpravou dojde i ke změně kapacity přelivu (*Výpočtová část – příloha č. 5, 7*).

### 4.4.4 Význam úpravy na návrhová variantní řešení

Z předpokládaného dokončení úpravy přelivné hrany, lze s jistotou usoudit, že bude dokončena, než započnou jakékoli podrobnější studie na nápravná řešení nevyhovujícího stavu za povodní na VD Těšetice.

**Za daného předpokladu lze dále uvažovat tento stav s upravenou přelivnou hranou za stav původní.**

## 5 NÁVRH OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA ZA POVODNÍCH

### 5.1.1 Návrhové parametry

Návrh opatření na VD Těšetice je proveden v souladu s ČSN 75 2340 [7] a ČSN 75 2935 [6], tzn. že jsou dodrženy následující zásady:

- Splnění požadavku pro bezpečné převedení KPV obsahující kritérium dle [6]:

**$KMH \leq MBH$**  (mezni bezpečná hladina).

Pro VD Těšetice je požadována KPV s pravděpodobností výskytu  $p_Q = 0,001$ , tedy  $KPV_{1000}$ . Na základě těchto výpočtů je stanovena kontrolní maximální hladina v nádrži (KMH) při kontrolní povodňové vlně (KPV).

- Návrh bezpečnostního přelivu je proveden tak, aby bylo zajištěno převedení  $KPV_{1000}$ . Návrhová kapacita zařízení je dimenzována na průtok, který již nepřevéde původní sdružený objekt, aniž by byla překročena KMH.

- Návrh skluzu je proveden tak, aby byla zajištěna rezerva min. 0,6 m nad hladinou při KPV. Je zohledněno provzdušnění vodního proudu. Návrh skluzu je proveden pro  $NPV_{1000}$ .

- Návrh vývaru je proveden pro  $NPV_{1000}$  [7].

### 5.1.2 Základní předpoklady

Z hlediska převádění povodní jsou na VD Těšetice dva kritické objekty:

1. **Odpadní chodba** – stávající konstrukce je kapacitně nevyhovující pro převedení KPV. Dle hydrotechnických výpočtů je maximální průtok stanoven cca 60 %  $Q_{1000}$ . Hlavní omezením v proudění v odpadní štolě je způsobeno závlahovým potrubím DN 500 umístěným v levém horním rohu štoly na konzolách. Za další snížení průtočného profilu lze považovat i chodník pro pochůzky obsluhy.

2. **Bezpečnostní přeliv** – stávající délka přelivné hrany byla navržena na  $Q_{100}$ . Z tohoto závěru je zřejmé že na převedení KPV bez přesáhnutí MBH není na tomto objektu možné.

## **5.2 STRUČNÝ PŘEHLED NÁVRHOVÝCH VARIANT**

### **5.2.1 Návrhová varianta „A”**

Návrh bočního bezpečnostního přelivu v pravém zavázání hráze, se zásahem do původního sdruženého objektu se neuvažuje.

### **5.2.2 Návrhová varianta „B”**

Návrh nového sdruženého objektu, sestávající s bezpečnostního přelivu, odpadní štolý a vývarem zaústěným do odpadního koryta.

### **5.2.3 Návrhová varianta „C”**

Návrh bočního bezpečnostního přelivu v levém zavázání hráze, se zásahem do původního sdruženého objektu se neuvažuje.

### **5.2.4 Návrhová varianta „D”**

Návrh bočního bezpečnostního přelivu v pravém zavázání hráze. Dále pak se uvažuje se snížením přelivné hrany na původním bezpečnostním objektu o 0,2 m z kóty 248,03 m n. m. na kótu 247,83 m n. m.

### **5.2.5 Návrhová varianta „E”**

Teoretická úvaha nad zvýšením koruny těsnícího jádra v kombinaci s některou výše zmiňovaných variant.

## 5.3 NÁVRHOVÁ VARIANTA „A”

Ve variantní řešení „A” se neuvažuje se žádným zásahem do původního sdruženého objektu. Pro převedení KPV je navržen nový bezpečnostní objekt v pravém zavázání hráze.

Nově navržený objekt bude sestávat s těchto částí:

- Bezpečnostní přeliv.
- Spadiště.
- Skluz.
- Vývar.
- Odpadní koryto s napojením na tok Únanovky.

Bezpečnostní přeliv je navržen ve dvou variantách:

1. Boční přeliv s přímou kruhovou přelivnou hranou.
2. Boční přeliv se zaoblenou kruhovou přelivnou hranou.

Pozn. Obě varianty řešení tvaru přelivné plochy bezpečnostního přelivu lze aplikovat na návrhové varianty „C” a „D”.

### 5.3.1 Bezpečnostní přeliv varianta 1

Bezpečnostní přeliv je navržen jako přímý boční přeliv s kruhovou přelivnou hranou v pravém zavázání hráze. Vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – přílohy č. 3-5*)

Kapacita je vypočtena dle rovnice (5.1). Návrhový průtok byl volen tak aby při součinnosti obou bezpečnostních zařízení (původního i navrhovaného) nebyla překročena MBH (248,97 m n. m.). Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 12 – 15*)

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany	$b = 11 \text{ m.}$
Poloměr kruhové přeliv. hrany	$r = 0,45 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{ph} = 247,83 \text{ m n. m.}$
Návrhový průtok při MBH	$Q_n = 30,50 \text{ m}^3/\text{s.}$

Výpočet měrné křivky (MK) bezpečnostního přelivu byl proveden pro dokonalý přepad. Součinitel přepadu byl vypočítán dle Redhocka a dle Kramera do maximální hodnoty  $m = 0,50$ . Dále pak pro určení míry zatopení přelivu dolní vodou bylo nutné spočítat průběh hladiny ve spadišti pomocí metody po úsecích s počáteční podmínkou kritické hloubky na přelomu spadiště – skluz.

$$Q = \sigma_z \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (5.1)$$

kde  $\sigma_z$  – součinitel zatopení,  
 $b_0$  – účinná délka přelivné hrany,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $m$  – součinitel přepadu,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

Účinná šířka přelivu  $b_0$  vychází z následujícího vztahu a zohledňuje velikost boční kontrakce. Bylo počítáno s dvěma kontrakcemi. Hodnota součinitele kontrakce byla stanovena na  $\xi=1$ .

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (5.2)$$

kde  $b$  – délka přelivné hrany,  
 $n$  – počet kontrakcí,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $\xi$  – součinitel závislý na charakteru kontrakce.

### 5.3.2 Bezpečnostní přeliv varianta 2

Bezpečnostní přeliv je navržen jako boční se zaoblenou kruhovou přelivnou hranou v pravém zavázání hráze. Vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 7*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – přílohy č. 4,5,8*).

Jelikož jde o přeliv se zaoblenou přelivnou hranou nelze jednoznačně stanovit kapacitu standartním výpočtem jako u varianty 1. Nicméně prodloužení přelivné hrany o 5 % by mělo zajistit požadovaný průtok při MBH.

Přesnějších výsledků by se dosáhlo na hydrotechnickém modelu. Proto je tato varianta popsána jen pomocí výkresové dokumentace a hydrotechnické výpočty jsou převzaty z varianty 1.

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany	$b = 11,55 \text{ m.}$
Poloměr kruhové přeliv. hrany	$r = 0,45 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{ph} = 247,83 \text{ m n. m.}$
Návrhový průtok při MBH	$Q_n \sim 30,50 \text{ m}^3/\text{s.}$

### 5.3.3 Skluz

Skluz je navržen jako betonové koryto obdélníkového tvaru a je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem, podélným a příčným řezem (*Výkresová část – přílohy č. 3,4,6*).

Výpočet proudění ve skluzu bylo provedeno metodou po úsecích. Skluz byl řešen jako koryto.

*Bezpečnostní skluz charakteristické parametry:*

Šířka betonového koryta skluzu	$B = 5 \text{ m.}$
Délka betonového koryta skluzu	$L = 85 \text{ m.}$
Podélný sklon	$i = 0,094.$
Drsnost stěn	$n = 0,017.$

Návrh skluzu resp. převýšení zdí nad hladinou ve skluzu vychází z ČSN 75 23 40 [7] . V [7] je uvedeno převýšení bočních zdí 0,6 m nad hladinou vody při  $KPV_{1000}$ .



Výpočet průběhu hladin ve skluzu byl proveden metodou po úsecích a je uvažováno i s vlivem provzdušnění proudu. Jako okrajová podmínka byla zadána kritická hloubka na konci spadiště.

### 5.3.4 Vývar

Vývar je navržen jako divergentní se zahloubením a je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem (*Výkresová část – přílohy č. 3*).

Parametry vývaru byly vypočteny dle rovnic (5.3, 5.4). Základním předpokladem pro správný návrh byla kritická hloubka provzdušněného proudu na konci skluzu („kritický profil“)  $h_c$  a s ní spojené Froudovo kritérium  $Fr_c$ .

**Rovnice výpočet délky divergentního vývaru obdélníkového průřezu dle Šulce – Starého.**

$$L_D = \frac{6,4h_c\sqrt{Fr_c-1}}{1+0,64h_c\operatorname{tg}\alpha\sqrt{Fr_c-1}\frac{1}{b_c}}, \quad (5.3)$$

kde –  $h_c$  – hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu,

$Fr_c$  – Froudovo kritérium v kritickém profilu,

$\operatorname{tg}\alpha$  – úhel rozevření divergentního vývaru,

$b_c$  – šířka skluzu v kritickém profilu.

*Vývar charakteristické parametry:*

Hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu

$h_c = 0,67 \text{ m.}$

Froudovo kritérium v kritickém profilu

$Fr_c = 4,65 \text{ m.}$

Úhel rozevření divergentního vývaru

$\operatorname{tg}\alpha = 8^\circ.$

Šířka skluzu v kritickém profilu

$b_c = 5 \text{ m.}$

**Délka divergentního vývaru**

**$L_d = 19 \text{ m.}$**

**Rovnice pro výpočet potřebného zahloubení vývaru.**

$$d = \sigma h_2 - h_d, \quad (5.4)$$

kde –  $\sigma$  – míra vzdušnosti vodního skoku (1,1),

$h_2$  – druhá vzájemná hloubka vodního skoku,

$h_d$  – hloubka vody v odpadním korytě.

Druhá vzájemná hloubka:

$$h_2 = \frac{h_{1(c)}}{2} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \beta \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_{1(c)}^3}} \right), \quad (5.5)$$

kde  $Q$  – průtok,

$\beta$  – Boussinesqovo číslo (1,0),

$b$  – šířka vývaru,

$h_{1(c)}$  – první vzájemná hloubka,

$g$  – tíhové zrychlení.

*Vývar charakteristické parametry:*

Průtok	$Q = 30,50 \text{ m}^3/\text{s}.$
Hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu	$h_{l(c)} = 0,67 \text{ m}.$
Tíhové zrychlení	$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$
Šířka vývaru	$b = 5 \text{ m}.$
Druhá vzájemná hloubka	$h_2 = 2,95 \text{ m}.$
Hloubka vody v odpadním korytě	$h_d = 0,80 \text{ m}.$
<b>Prohloubení vývaru</b>	<b><math>d = 2,5 \text{ m}.</math></b>

### 5.3.5 Odpadní koryto pod hrází

Odpadní koryto je směrově i výškově navázáno na koryto Únanovky. Tvar koryta je lichoběžníkový, dno a břehy jsou zpevněny kamenným pohozem do výšky 2,0 m a délky 40 m, výše pak jsou svahy ohumusovány a osety.

Délka koryta	89 m.
Šířka koryta ve dně	10,8 m (s postupným zúžením na 8,7 m).
Sklon svahů koryta	1 : 2.

### 5.3.6 Výsledné posouzení VD za povodní

Vodní dílo Těšetice se dle svého významu možného rizika ohrožení řadí dle ČSN 75 2935 [6] do III s označením výše škod při jeho porušení jako „STREDNÍ“.

Proto jako požadovaná míra bezpečnosti je KPV o  $N = 1000$  přičemž nesmí být překročena MBH = 248,97 m n. m.

Počáteční hladina v nádrži je v úrovni plného zásobního prostoru na kótě 247,83 m n. m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno.

**Manipulace během povodňových stavů je uvažována dle platného manipulačního řádu [1].**

#### Parametry povodňové vlny s $P = 0,001$

Povodňová vlna s dobou opakování  $N = 1000$  let stanovená dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.  $Q = 56,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $W = 2,19 \text{ mil. m}^3$ ,  $t = 100 \text{ hod.}$ ,  $t_{\text{kulminace}} = 11 \text{ hod.}$

Posouzení transformace KPV bylo provedeno programem VHRES 1.00, výsledky jsou obsaženy v příloze (*Výpočtová část – příloha č. 3*).

Jako mezní bezpečnou hladinu (MBH) lze předběžně uvažovat kótu – 248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod nejnižším místě koruny hráze a 1,14 m nad kótu přelivu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle ČSN 75 2935 [6]:

$$\text{KMH} \leq \text{MBH}$$

**Výpočet: 248,84 m n. m.  $\leq$  248,97 m n. m.  $\Rightarrow$  VD vyhovuje pro převedení KPV**

Převýšení KMH

- nad maximální hladinou v nádrži  $M_{\text{MAX}} = 248,70 \text{ m n. m.}$ : +0,14 m
- nad MBH = 248,97 m n. m.: - 0,13 m
- nad korunou hráze 249,50 (min 249,47) m n. m.: - 0,66 m

**Z výsledků plyne, že VD Těšetice – po provedených opatřeních uvedených v návrhové variantě A - bude zabezpečeno na průchod aktuální KPV<sub>1000</sub> bez překročení MBH 248,97 m n. m.**

### **5.3.7 Závěrečné zhodnocení variantního řešení**

Návrhové řešení splňuje podmínku dle ČSN 75 2935 [6] na zabezpečení VD za povodní. Dále pak jednotlivé navržené objekty jsou v souladu s hydrotechnickými výpočty. Důraz byl kladen na funkčnost a jednoduchost proveditelnosti těchto objektů. V potaz byla brána i ekonomická stránka opatření, ovšem jen na úrovni odhadu.

## 5.4 NÁVRHOVÁ VARIANTA „B”

Ve variantní řešení „B” se uvažuje s nahrazením původního sdruženého objektu novým bezpečnostním objektem. Další úpravy na vodním díle se neuvažují.

Nově navržený objekt bude sestávat s těchto částí:

- Bezpečnostní přeliv.
- Spadiště.
- Odpadní štola.
- Vývar.
- Odpadní koryto s napojením na tok Únanovky.

Odpadní štola je navržena ve dvou variantách:

1. Oddílová odpadní štola – rozdělena pilířem na odpadní štolu a štolu s odběrem.
2. Sdružená odpadní štola – odběrné potrubí je umístěno v odpadní štole.

### 5.4.1 Bezpečnostní přeliv

Přeliv je umístěn ve sdruženém objektu hráze. Jde o volný přeliv, má dvě přelivné hrany o délce 2 x 10 m umístěné na protilehlých stěnách přelivné odpadní šachty lichoběžníkového průřezu. Odpadní šachta ústí přechodovou částí do odpadní chodby obdélníkového průřezu.

Bezpečnostní přeliv je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a podélným řezem (*Výkresová část – přílohy č. 2,3*).

Kapacita je vypočtena dle rovnice (5.6). Podmínky pro návrh jsou návrhový průtok  $Q_{1000}$  a aby nebyla překročena MBH (248,97 m n. m.) při KPV. Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 1,2*)

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany (obou polí)	$b = 20 \text{ m.}$
Poloměr kruhové přeliv. hrany	$r = 0,45 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{ph} = 247,83 \text{ m n. m.}$
Návrhový průtok při MBH	$Q_n = 56,5 \text{ m}^3/\text{s.}$

Výpočet měrné křivky (MK) bezpečnostního přelivu byl proveden pro dokonalý přepad. Součinitel přepadu byl vypočítán dle Redhocka a dle Kramera do maximální hodnoty  $m = 0,50$ . Zatopení od dolní vody není uvažováno z důvodu, že přeliv přechází ve spadiště, které je pod úrovní přelivné hrany cca 11 m.

$$Q = \sigma_z \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h^{\frac{3}{2}}}, \quad (5.6)$$

kde  $\sigma_z$  – součinitel zatopení,  
 $b_0$  – účinná délka přelivné hrany,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $m$  – součinitel přepadu,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

Účinná šířka přelivu  $b_0$  vychází z následujícího vztahu a zohledňuje velikost boční kontrakce. Bylo počítáno s dvěma kontrakcemi. Hodnota součinitele kontrakce byla stanovena na  $\xi=1$ .

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (5.7)$$

kde  $b$  – délka přelivné hrany,  
 $n$  – počet kontrakcí,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $\xi$  – součinitel závislý na charakteru kontrakce.

### 5.4.2 Odpadní štola varianta 1

Odpadní štola je navržena jako betonové koryto obdélníkového tvaru. Součástí odpadní štoly je také štola se závlahovým potrubím DN 500. Odpadní štola je vykreslena v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněna půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – přílohy č. 2,3,5*).

Výpočet proudění v odpadní štole bylo provedeno dle Chézyho. Štola byla řešena jako koryto. V odpadní štole nesmí během povodňových průtoků dojít k tlakovému proudění. Z tohoto předpokladu vychází kapacita odpadní štoly.

Součástí odpadní štoly je také škrticí profil na hranici spadiště – odpadní štola. Tento zmenšený průřez slouží k zajištění proudění o volné hladině v štole. Zavzdušnění je zajištěno potrubím DN 500 ve stropě štoly za tímto zúženým profilem. Výpočet kapacity tohoto profilu byl proveden dle rovnic pro hydraulicky malý i velký otvor ve svislé stěně.

Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 6,7*)

*Odpadní štola charakteristické parametry:*

Šířka odpadní štoly	$B = 2,7 \text{ m.}$
Výška odpadní štoly	$H = 2,5 \text{ m.}$
Délka odpadní štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Podélný sklon	$i = 0,035.$
Drsnost stěn	$n = 0,017.$

*Štola odběru charakteristické parametry:*

Šířka štoly	$B = 1,5 \text{ m.}$
Výška štoly	$H = 2,5 \text{ m.}$
Délka štoly	$L = 65 \text{ m.}$

*Škrticí profil charakteristické parametry:*

Šířka otvoru	$B = 2,7 \text{ m.}$
Výška otvoru	$H = 2,0 \text{ m.}$
Délka štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Vtokový součinitel	$\mu = 0,82.$

### 5.4.3 Odpadní štola varianta 2

Varianta 2 se liší od varianty 1 pouze v technickém uspořádání štoly. Odstranil se dělicí pilíř, odběrné potrubí je přemístěno ke stropu štoly. Těmito změnami se docílilo zvětšení průtočné kapacity natolik, že bylo možné zúžit objekt štoly o 1 metr po celé délce.

Další úpravy nejsou provedeny. Zbylé části odpadní štoly jsou totožné s variantou 1. Odpadní štola je vykreslena v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 6*) dále je podrobně znázorněna půdorysem a příčným řezem (*Výkresová část – přílohy č. 7,8*).

Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 6,7*)

*Odpadní štola charakteristické parametry:*

Šířka odpadní štoly	$B = 3,7 \text{ m.}$
Výška odpadní štoly	$H = 2,5 \text{ m.}$
Délka odpadní štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Podélný sklon	$i = 0,035.$
Drsnost stěn	$n = 0,017.$

*Škrťací profil charakteristické parametry:*

Šířka otvoru	$B = 2,7 \text{ m.}$
Výška otvoru	$H = 2,0 \text{ m.}$
Délka štoly	$L = 65 \text{ m.}$
Vtokový součinitel	$\mu = 0,82.$

### 5.4.4 Vývar

Vývar je navržen jako lichoběžníkový se zahloubením. Sklony stěn jsou 5:1. Vývar je vykreslen v situaci hráze (*Výpočtová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a řezem (*Výpočtová část – přílohy č. 3,4*).

Parametry vývaru byly vypočteny dle rovnic (5.8,5.9). Základním předpokladem pro správný návrh byla kritická hloubka proudu na konci odpadní štoly („kritický profil“)  $h_c$ .

**Rovnice výpočet délky vývaru obdélníkového průřezu dle Smetany.**

$$L_v = 6(h_2 - h_1), \quad (5.8)$$

kde –  $h_{1(c)}$  – hloubka proudu v kritickém profilu – první vzájemná hloubka,  
 $h_2$  – druhá vzájemná hloubka.

*Vývar charakteristické parametry:*

První vzájemná hloubka	$h_1 = 0,91 \text{ m.}$
Druhá vzájemná hloubka	$h_2 = 4,83 \text{ m.}$
<b>Délka vývaru</b>	<b><math>L_d = 24 \text{ m.}</math></b>

**Rovnice pro výpočet potřebného zahloubení vývaru.**

$$d = \sigma h_2 - h_d, \quad (5.9)$$

kde –  $\sigma$  – míra vzdutí vodního skoku (1,1),

$h_2$  – druhá vzájemná hloubka vodního skoku,  
 $h_d$  – hloubka vody v odpadním korytě.

Druhá vzájemná hloubka:

$$h_2 = \frac{h_{1(c)}}{2} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \beta \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_{1(c)}^3}} \right), \quad (5.10)$$

kde  $Q$  – průtok,  
 $\beta$  – Boussinesqovo číslo (1,0),  
 $b$  – šířka vývaru,  
 $h_{1(c)}$  – první vzájemná hloubka  
 $g$  – tíhové zrychlení.

*Vývar charakteristické parametry:*

Průtok	$Q = 56,5 \text{ m}^3/\text{s}.$
Tíhové zrychlení	$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$
Šířka vývaru	$b = 3 \text{ m}.$
Hloubka vody v odpadním korytě	$h_d = 2,2 \text{ m}.$
<b>Prohloubení vývaru</b>	<b><math>d = 3,2 \text{ m}.</math></b>

#### 5.4.5 Odpadní koryto pod hrází

Odpadní koryto je směrově i výškově navázáno na koryto Únanovky. Tvar koryta je lichoběžníkový, dno a břehy jsou zpevněny kamenným pohozem do výšky 2,0 m a délky 40 m, výše pak jsou svahy ohumusovány a osety.

Délka koryta	250 m.
Šířka koryta ve dně	4,0 m (s postupným zúžením na 3,0 m).
Sklon svahů koryta	1 : 2.

#### 5.4.6 Výsledné posouzení VD za povodní

Vodní dílo Těšetice se dle svého významu možného rizika ohrožení řadí dle ČSN 75 2935 [6] do III s označením výše škod při jeho porušení jako „STREDNÍ“.

Proto jako požadovaná míra bezpečnosti je KPV o  $N = 1000$  přičemž nesmí být překročena MBH = 248,97 m n. m.

Počáteční hladina v nádrži je v úrovni plného zásobního prostoru na kótě 247,83 m n. m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno.

**Manipulace během povodňových stavů je uvažována dle platného manipulačního řádu [1].**

##### **Parametry povodňové vlny s $P = 0,001$**

Povodňová vlna s dobou opakování  $N = 10\,00$  let stanovená dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.  $Q = 56,5 \text{ m}^3/\text{s},$   $W = 2,19 \text{ mil. m}^3.,$   $t = 100 \text{ hod.},$   $t_{\text{kulminace}} = 11 \text{ hod.}$

Posouzení transformace KPV bylo provedeno programem VHRES 1.00, výsledky jsou obsaženy v příloze (*Výpočtová část – příloha č. 3*).

Jako mezní bezpečnou hladinu (MBH) lze předběžně uvažovat kótu – 248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod nejnižším místě koruny hráze a 1,14 m nad kótu přelivu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle ČSN 75 2935 [6]:

$$KMH \leq MBH$$

**Výpočet: 248,88 m n. m.  $\leq$  248,97 m n. m.  $\Rightarrow$  VD vyhovuje pro převedení KPV**

Převýšení KMH

- nad maximální hladinou v nádrži  $M_{MAX} = 248,70$  m n. m.: + 0,18 m
- nad MBH = 248,97 m n. m.: - 0,09 m
- nad korunou hráze 249,50 (min 249,47) m n. m.: - 0,62 m

**Z výsledků plyne, že VD Těšetice – po provedených opatřeních uvedených v návrhové variantě A - bude zabezpečeno na průchod aktuální KPV<sub>1000</sub> bez překročení MBH 248,97 m n. m.**

#### **5.4.7 Závěrečné zhodnocení variantního řešení**

Návrhové řešení splňuje podmínku dle ČSN 75 2935 [6] na zabezpečení VD za povodní. Dále pak jednotlivé navržené objekty jsou v souladu s hydrotechnickými výpočty. Důraz byl kladen na funkčnost a jednoduchost proveditelnosti těchto objektů. V potaz byla brána i ekonomická stránka opatření, ovšem jen na úrovni odhadu.



## 5.5 NÁVRHOVÁ VARIANTA „C”

Ve variantní řešení „C” se neuvažuje se žádným zásahem do původního sdruženého objektu. Pro převedení KPV je navržen nový bezpečnostního objektu v levém zavázání hráze.

Tato varianta je totožná s variantním řešením „A”. Liší se pouze dispozičním umístěním a parametry skluzu, divergentního vývaru a odpadního koryta a to z důvodu rozdílnosti morfologie terénu na pravém a levém zavázání vzdušního líce hráze.

Nově navržený objekt bude sestávat s těchto částí:

- Bezpečnostní přeliv.
- Spadiště.
- Skluz.
- Vývar.
- Odpadní koryto s napojením na tok Únanovky.

### 5.5.1 Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv je navržen jako boční s kruhovou přelivnou hranou v pravém zavázání hráze a je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – přílohy č. 2,3,4*).

Kapacita je vypočtena dle rovnice (5.11). Návrhový průtok byl volen tak aby při součinnosti obou bezpečnostních zařízení (původního i navrhovaného) nebyla překročena MBH (248,97 m n. m.). Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách (*Výpočtová část – přílohy č. 1,2*).

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany	$b = 11 \text{ m.}$
Poloměr kruhové přeliv. hrany	$r = 0,45 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{ph} = 247,83 \text{ m n. m.}$
Návrhový průtok při MBH	$Q_n = 30,50 \text{ m}^3/\text{s.}$

Výpočet měrné křivky (MK) bezpečnostního přelivu byl proveden pro dokonalý přepad. Součinitel přepadu byl vypočítán dle Redhocka a dle Kramera do maximální hodnoty  $m = 0,50$ . Dále pak pro určení míry zatopení přelivu dolní vodou bylo nutné spočítat průběh hladiny ve spadišti pomocí metody po úsecích s počáteční podmínkou kritické hloubky na přelomu spadiště – skluz.

$$Q = \sigma_z \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}, \quad (5.11)$$

kde  $\sigma_z$  – součinitel zatopení,  
 $b_0$  – účinná délka přelivné hrany,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $m$  – součinitel přepadu,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

Účinná šířka přelivu  $b_0$  vychází z následujícího vztahu a zohledňuje velikost boční kontrakce. Bylo počítáno s dvěma kontrakcemi. Hodnota součinitele kontrakce byla stanovena na  $\xi=1$ .

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (5.12)$$

kde  $b$  – délka přelivné hrany,  
 $n$  – počet kontrakcí,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $\xi$  – součinitel závislý na charakteru kontrakce.

### 5.5.2 Bezpečnostní skluz

Bezpečnostní skluz navržen jako betonové koryto obdélníkového tvaru a je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a příčným a podélným řezem (*Výkresová část – přílohy č. 2,3,5*).

Výpočet proudění ve skluzu bylo provedeno metodou po úsecích. Skluz byl řešen jako koryto.

*Bezpečnostní skluz charakteristické parametry:*

Šířka betonového koryta skluzu	$B = 5 \text{ m.}$
Délka betonového koryta skluzu	$L = 30 \text{ m.}$
Podélný sklon	$i = 0,317.$
Drsnost stěn	$n = 0,017.$

Návrh skluzu resp. převýšení zdí nad hladinou ve skluzu vychází z ČSN 75 23 40 [6]. V [6] je uvedeno převýšení bočních zdí 0,6 m nad hladinou vody při KPV<sub>1000</sub>.

Výpočet průběhu hladin ve skluzu byl proveden metodou po úsecích a je uvažováno i s vlivem provzdušnění proudu. Jako okrajová podmínka byla zadána kritická hloubka na konci spadiště.

### 5.5.3 Vývar

Vývar je navržen jako divergentní se zahlobením a je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem (*Výkresová část – přílohy č. 3*).

Parametry vývaru byly vypočteny dle rovnic (5.13,5.14). Základním předpokladem pro správný návrh byla kritická hloubka provzdušněného proudu na konci skluzu („kritický profil“)  $h_c$  a s ní spojené Froudovo kritérium  $Fr_c$ .

**Rovnice výpočet délky divergentního vývaru obdélníkového průřezu dle Šulce – Starého.**

$$L_D = \frac{6,4h_c\sqrt{Fr_c-1}}{1+0,64h_c\tg\alpha\sqrt{Fr_c-1}\frac{1}{b_c}}, \quad (5.13)$$

kde –  $h_c$  – hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu,  
 $Fr_c$  – Froudovo kritérium v kritickém profilu,  
 $\tg\alpha$  – úhel rozevření divergentního vývaru,  
 $b_c$  – šířka skluzu v kritickém profilu.

*Vývar charakteristické parametry:*

Hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu	$h_c = 0,61 \text{ m.}$
Froudovo kritérium v kritickém profilu	$Fr_c = 6,25 \text{ m.}$

Úhel rozevření divergentního vývaru

$$\operatorname{tg} \alpha = 8^{\circ}.$$

Šířka skluzu v kritickém profilu

$$b_c = 5 \text{ m.}$$

**Délka divergentního vývaru**

$$L_d = 23 \text{ m.}$$

**Rovnice pro výpočet potřebného zahloubení vývaru.**

$$d = \sigma h_2 - h_d, \quad (5.14)$$

kde –  $\sigma$  – míra vzduť vodního skoku (1,1), $h_2$  – druhá vzájemná hloubka vodního skoku, $h_d$  – hloubka vody v odpadním korytě.

Druhá vzájemná hloubka:

$$h_2 = \frac{h_{1(c)}}{2} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \beta \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_{1(c)}^3}} \right), \quad (5.15)$$

kde  $Q$  – průtok, $\beta$  – Boussinesqovo číslo (1,0), $b$  – šířka vývaru, $h_{1(c)}$  – první vzájemná hloubka, $g$  – tíhové zrychlení.*Vývar charakteristické parametry:*

Průtok

$$Q = 30,50 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu

$$h_{1(c)} = 0,61 \text{ m.}$$

Tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Šířka vývaru

$$b = 5 \text{ m.}$$

Druhá vzájemná hloubka

$$h_2 = 3,42 \text{ m.}$$

Hloubka vody v odpadním korytě

$$h_d = 1,00 \text{ m.}$$

**Prohloubení vývaru**

$$d = 2,8 \text{ m.}$$

### 5.5.4 Odpadní koryto pod hrází

Odpadní koryto je směrově i výškově navázáno na koryto Únanovky. Tvar koryta je lichoběžníkový, dno a břehy jsou zpevněny kamenným pohozením do výšky 2,0 m a délky 40 m, výše pak jsou svahy ohumusovány a osety.

Délka koryta

$$60 \text{ m.}$$

Šířka koryta ve dně

$$11,8 \text{ m (s postupným zúžením na 3,0 m).}$$

Sklon svahů koryta

$$1 : 2.$$

### 5.5.5 Výsledné posouzení VD za povodní

Vodní dílo Těšetice se dle svého významu možného rizika ohrožení řadí dle ČSN 75 2935 [6] do III s označením výše škod při jeho porušení jako „STREDNÍ“.

Proto jako požadovaná míra bezpečnosti je KPV o  $N = 1000$  přičemž nesmí být překročena  $MBH = 248,97$  m n. m.

Počáteční hladina v nádrži je v úrovni plného zásobního prostoru na kótě 247,83 m n. m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno.

**Manipulace během povodňových stavů je uvažována dle platného manipulačního řádu [1].**

#### **Parametry povodňové vlny s $P = 0,001$**

Povodňová vlna s dobou opakování  $N = 10\ 00$  let stanovená dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.  $Q = 56,5$  m<sup>3</sup>/s,  $W = 2,19$  mil. m<sup>3</sup>.,  $t = 100$  hod.,  $t_{\text{kulminace}} = 11$  hod.

Posouzení transformace KPV bylo provedeno programem VHRES 1.00, výsledky jsou obsaženy v příloze (*Výpočtová část – příloha č. 3*).

Jako mezní bezpečnou hladinu (MBH) lze předběžně uvažovat kótu – 248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod nejnižším místě koruny hráze a 1,14 m nad kótu přelivu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle ČSN 75 2935 [6]:

#### **$KMH \leq MBH$**

**Výpočet: 248,84 m n. m.  $\leq$  248,97 m n. m.  $\Rightarrow$  VD vyhovuje pro převedení KPV**

Převýšení KMH

- nad maximální hladinou v nádrži  $M_{\text{MAX}} = 248,70$  m n. m.: +0,14 m
- nad  $MBH = 248,97$  m n. m.: - 0,13 m
- nad korunou hráze 249,50 (min 249,47) m n. m.: - 0,66 m

**Z výsledků plyne, že VD Těšetice – po provedených opatřeních uvedených v návrhové variantě C - bude zabezpečeno na průchod aktuální KPV<sub>1000</sub> bez překročení MBH 248,97 m n. m.**

### **5.5.6 Závěrečné zhodnocení variantního řešení**

Návrhové řešení splňuje podmínku dle ČSN 75 2935 [6] na zabezpečení VD za povodní. Dále pak jednotlivé navržené objekty jsou v souladu s hydrotechnickými výpočty. Důraz byl kladen na funkčnost a jednoduchost proveditelnosti těchto objektů. V potaz byla brána i ekonomická stránka opatření, ovšem jen na úrovni odhadu.

Tato varianta se však vyznačuje několika nedostatky oproti variantě „A“. Hlavní je ten, že kvůli malému prostoru v levém závazání jak znázorňuje podrobná situace (*Výkresová část – přílohy č. 1*). To je způsobeno tím, že se zde nachází vyústění odpadní štol s vývarem a budova čerpací stanice. Proto musel být skluz zkrácen, tak aby plynule navazoval na původní koryto a nezasahoval do původní stavby odpadní štol a vývaru.

Všechny výše popsání dispoziční problémy měly za následek větší zahloubení skluzu a strmější sklon. Tím byl také ovlivněn návrh vývaru, který bylo nutné zvětšit a prohloubit.

Další komplikací je zavlažovací potrubí, které je na konci původní odpadní štol odbočeno směrem k čerpací stanici, stavba bezpečnostního objektu by znamenala přeložku zavlažovacího potrubí.

## 5.6 NÁVRHOVÁ VARIANTA „D”

Ve variantní řešení „D” se uvažuje se zásahem do původního sdruženého objektu. Na původním bezpečnostním přelivu dojde k snížení přelivné hrany s kóty 248,03 m n. m. na kótu 247,83 tedy o 0,2 m po celé délce. Tímto zásahem dojde ke zvětšení přepadového množství za povodňových průtoků.

Výše popsany zásah do původního objektu ovšem nedostatečný, aby bylo vyhověno podmínkám dle ČSN 75 2935 [6]. Proto pro převedení KPV je navržen nový bezpečnostního objektu v pravém zavázání hráze. Tento objekt je shodný s navrhovaným bezpečnostním objektem ve variantě „A“, proto jej nebudu zde znovu popisovat.

Úpravy na stávajícím bezpečnostním objektu:

- Snížení přelivné hrany s kóty 248,03 m n. m. na kótu 247,83 tedy o 0,2 m po celé délce.

Nově navržený bezp. objekt v pravém zavázání hráze bude sestávat s těchto částí:

- Bezpečnostní přeliv.
- Spadiště.
- Bezpečnostní skluz.
- Vývar.
- Odpadní koryto s napojením na tok Únanovky.

### 5.6.1 Úpravy na původním bezpečnostním objektu

Původní bezpečnostní přeliv byl navržen s kruhovou přelivnou hranou. Nová přelivná hrana bude elipsovitého tvaru, tak jak je popsáno v kapitole (*kap. 4.4*). Dále pak bude přelivná hrana snížena o 0,2 m za účelem zvýšení retenční kapacity. Bezpečnostní přeliv je vykreslen v situaci hráze (*Výkresová část – přílohy č. 1*) dále je podrobně znázorněn půdorysem a dvěma řezy (*Výkresová část – přílohy č. 3,4*).

Kapacita je vypočtena dle rovnice (5.16). Návrhový průtok byl volen tak aby při součinnosti obou bezpečnostních zařízení (původního i navrhovaného) nebyla překročena MBH (248,97 m n. m.). Provedené výpočty jsou uvedeny v přílohách. (*Výpočtová část – přílohy č. 1,2*)

*Bezpečnostní přeliv charakteristické parametry:*

Délka přelivné hrany	$b = 13,5 \text{ m.}$
Elipsový tvar přeliv. hrany	$a = 0,45 \text{ m.}$
	$b = 0,25 \text{ m.}$
Kóta přelivné hrany	$K_{ph} = 247,83 \text{ m n. m.}$
Průtok při MBH	$Q_n = 37,75 \text{ m}^3/\text{s.}$

Touto úpravou dojde k zvětšení přepadového množství při  $M_{max}$  o 5,8 m<sup>3</sup>/s a při MBH o 6,7 m<sup>3</sup>/s

Výpočet měrné křivky (MK) bezpečnostního přelivu byl proveden pro dokonalý přepad. Součinitel přepadu byl vypočítán dle Kramera do maximální hodnoty  $m = 0,50$ .

$$Q = \sigma_z \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot g \cdot h^2}, \quad (5.16)$$

kde  $\sigma_z$  – součinitel zatopení,  
 $b_0$  – účinná délka přelivné hrany,  
 $h$  – přepadová výška,

$m$  – součinitel přepadu,  
 $g$  – tíhové zrychlení.

Účinná šířka přelivu  $b_0$  vychází z následujícího vztahu a zohledňuje velikost boční kontrakce. Bylo počítáno s dvěma kontrakcemi. Hodnota součinitele kontrakce byla stanovena na  $\xi=1$ .

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (5.17)$$

kde  $b$  – délka přelivné hrany,  
 $n$  – počet kontrakcí,  
 $h$  – přepadová výška,  
 $\xi$  – součinitel závislý na charakteru kontrakce.

### 5.6.2 Výsledné posouzení VD za povodní

Vodní dílo Těšetice se dle svého významu možného rizika ohrožení řadí dle ČSN 75 2935 [6] do III s označením výše škod při jeho porušení jako „STREDNÍ“.

Proto jako požadovaná míra bezpečnosti je KPV o  $N = 1000$  přičemž nesmí být překročena MBH = 248,97 m n. m.

Počáteční hladina v nádrži je v úrovni plného zásobního prostoru na kótě 247,83 m n. m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno.

**Manipulace během povodňových stavů je uvažována dle platného manipulačního řádu [1].**

#### Parametry povodňové vlny s $P = 0,001$

Povodňová vlna s dobou opakování  $N = 10\,000$  let stanovena dle klasické statistické srovnávací metody a analogie.  $Q = 56,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $W = 2,19 \text{ mil. m}^3$ ,  $t = 100 \text{ hod.}$ ,  $t_{\text{kulminace}} = 11 \text{ hod.}$

Posouzení transformace KPV bylo provedeno programem VHRES 1.00, výsledky jsou obsaženy v příloze (*Výpočtová část – příloha č. 3*).

Jako mezní bezpečnou hladinu (MBH) lze předběžně uvažovat kótu – 248,97 m n. m, tj. 0,50 m pod nejnižším místě koruny hráze a 1,14 m nad kótu přelivu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle ČSN 75 2935 [6]:

$$KM_H \leq MBH$$

**Výpočet: 248,76 m n. m.  $\leq$  248,97 m n. m.  $\Rightarrow$  VD vyhovuje pro převedení KPV**

Převýšení KMH

- nad maximální hladinou v nádrži  $M_{\text{MAX}} = 248,70 \text{ m n. m.}$ : +0,06 m
- nad MBH = 248,97 m n. m.: - 0,23 m
- nad korunou hráze 249,50 (min 249,47) m n. m.: - 0,74 m

**Z výsledků plyne, že VD Těšetice – po provedených opatřeních uvedených v návrhové variantě D - bude zabezpečeno na průchod aktuální KPV<sub>1000</sub> bez překročení MBH 248,97 m n. m.**

### 5.6.3 Závěrečné zhodnocení variantního řešení

Návrhové řešení splňuje podmínku dle ČSN 75 2935 [6] na zabezpečení VD za povodní. Dále pak jednotlivé navržené objekty jsou v souladu s hydrotechnickými výpočty. Důraz byl kladen na funkčnost a jednoduchost proveditelnosti těchto objektů. V potaz byla brána i ekonomická stránka opatření, ovšem jen na úrovni odhadu.

Hlavním nedostatkem této varianty je malá až nulová prospěšnost úpravy na původním bezpečnostním objektu. Zásadním problémem je v nedostatečné kapacitě odpadní štol, jak již bylo popsáno v kapitole původní stav (*kap. 4.*). Tak jediným přínosem zůstane větší přepadové při stejné přepadové výšce oproti původnímu přelivu, ovšem jen do okamžiku dosažení kapacitního průtoku odpadní štol.

## 5.7 NÁVRHOVÁ VARIANTA „E“

Navýšení těsnícího jádra je další možností na řešení nevyhovujícího stavu VD Těšetice. Jelikož vycházíme z předpokladu, že havárii vodní díla nejpravděpodobněji způsobí přelévání koruny hráze nebo vznik privilegované průsakové cesty nad těsnícím jádrem při povodňových stavech dle ČSN 75 2340 [6]. Proto je snahou zvýšit MBH, která se odvíjí od koruny těsnícího jádra, a tím tak navýšit přepadovou výšku u bezpečnostních přelivů.

Možnosti technického řešení navýšení koruny těsnícího jádra:

- Podzemní svislá těsnící clona v ose hráze, která bude napojena na zemní těsnění.
- Stěna z ocelových štětovic spojující vlnolam na koruně hráze s těsnícím jádrem.
- Návodní těsnění, které spojuje vlnolam na koruně hráze s těsnícím jádrem.

Na VD Těšetice některé z možností navýšení těsnícího jádra, respektive MBH, nebude mít tak přínosný účinek. Jak již bylo popsáno v *kap. 5 Původní stav* kapacita odpadní štol odpovídá přibližně kapacitě bezpečnostního přelivu. Jak je již zřejmé pouhé zvýšení těsnícího jádra bude nedostačující a bude nutné ho zvolit v kombinaci s některým předešlým variantním řešením.

Kombinace tohoto a některého z výše popsaných řešení umožní zmenšení bezpečnostních přelivů. Nejmarkantnější rozdíl bude u varianty „B“, kde by došlo ke zkrácení přelivné hrany zhruba o 1/3 délky.

## 6 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Pro VD Těšetice je požadovaná míra bezpečnosti VD definována použitím KPV s parametry  $Q_{1000}$ . Parametry této vlny byly poskytnuty ČHMÚ prostřednictvím hydrologické studie z prosince 2013 [2]. Jedná se o hydrogram neovlivněné teoretické povodňové vlny s dobou opakování  $N=1\,000$  let, zpracovaný podle klasické statistické metodiky.

Mezní bezpečná hladina MBH byla stanovena na kótě 248,97 m n. m., což je projektovaná výška koruny těsnicího jádra. MBH se nachází cca 0,5 m pod nejnižším místem koruny hráze a cca 0,27 m nad maximální hladinu v nádrži.

Původní stav VD díla je nevyhovující na převedení KPV s parametry  $Q_{1000}$ . To je způsobeno nekapacitním bezpečnostním objektem. Zejména se jedná o odpadní štolu a bezpečnostní přeliv. (viz. kap. 4)

Dále je důležité zmínit, že momentálně probíhají úpravné práce na bezpečnostním přelivu (05 – 12/2015) na zvýšení retenčního prostoru. **Nadále je tento stav považován jako stav původní pro všechna variantní řešení.** (viz. kap. 4)

Řešením nevyhovujícího stavu bylo zvolení 5 nepravděpodobnějších variant úprav stávajícího stavu. Velmi stručně, jedná se o návrh doplňkového bezpečnostního přelivu v několika variantách a úpravy stávajícího bezpečnostního objektu.

**Tab. 6.1** Hlavní výsledky variantních řešení

Ozn. varianty	KPV ( $Q_{1000} = 56,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , $W_{PV1000} = 2,19 \text{ mil m}^3$ , $t_{PV1000} = 100 \text{ hodin}$ )							
	Vstupní parametry	Výstupní parametry						
	$H_{\text{poč.}}$	$H_{\text{max}}$	$Q_{\text{max}}$	$Q_{\text{max SV}}$	$Q_{\text{max}}$ původní přeliv	$Q_{\text{max}}$ nový přeliv	Rozdíl vůči $H_{\text{max}}$	Rozdíl vůči MBH
	m n. m.	m n. m.	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	m	m
A	247,83	248,84	52,0	3,4	24,4	24,9	0,14	-0,13
B	247,83	248,88	50,9	3,4	-	48,5	0,18	-0,09
C	247,83	248,84	52,0	3,4	24,4	24,9	0,14	-0,13
D	247,83	248,76	51,7	3,4	28,3	23,1	0,06	-0,23

Výsledky výpočtů transformace povodní nádrží prokazují (tab 6.1), že vodní dílo Těšetice splňuje požadavky ČSN 75 2935 [6] pro všechna variantní řešení. Jednotlivé varianty se z tohoto hlediska příliš neliší. Povodňová vlna s parametry  $Q_{1000}$  bude kulminovat přibližně při hladině 248,80 m n. m. a odtok z nádrže bude činit cca  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Za těchto předpokladů bude o nejpravděpodobnějším nápravném řešení rozhodovat kombinace technických a ekonomických aspektů jednotlivých variant.



## **7 LITERATURA, ELEKTRONICKÉ ZDROJE**

### **7.1 LITERATURA**

- [1] Manipulační řád pro vodní díla Těšetice a Bohuňovský rybník, 05/2014,
- [2] Údaje ČHMÚ, pobočka Brno, 12/2013 (hydrogramy povodňových vln),
- [3] Manuál k programu VHRES 1.00, doc. Ing. Jan Jandora Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Brno 05/2012,
- [4] *Hydraulika a hydrologie modul 01*, doc. Ing. Jan Jandora Ph.D., Vysoké učení technické v Brně,
- [5] Projektová dokumentace VN Těšetice – zvýšení retence, Golík VH, s. r. o., Ing. Pavel Golík, Ph. D., 05/2015

### **7.2 ZÁKONY, NORMY, PŘEDPISY, VYHLÁŠKY**

- [6] ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní,
- [7] ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení,
- [8] ČSN 75 0255 Účinek vln na stavby na vodních nádržích a zdržích,

ČSN 75 2310 Sypané hráze.

### **7.3 ELEKTRONICKÉ ZDROJE**

Povodí Moravy, Vodní dílo Těšetice,

<http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/tesetice>,

Státní správa zeměměřictví a katastru, <http://www.cuzk.cz/>

Oprava vodního díla Mostiště,

[http://www.casopisstavebnictvi.cz/oprava-vodniho-dila-mostiste\\_N1015](http://www.casopisstavebnictvi.cz/oprava-vodniho-dila-mostiste_N1015).

## 8 REJSTŘÍK

### 8.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 2.1</b> Letecký snímek VD Těšetice (převzato z MŘ [1]) .....	- 2 -
<b>Obr. 2.2</b> Pohled na vzdušný svah hráze .....	- 3 -
<b>Obr. 2.3</b> Sdružený manipulační objekt .....	- 4 -
<b>Obr. 2.4</b> Přelivná hrana šachtového přelivu .....	- 5 -
<b>Obr. 2.5</b> Odpadní chodba se závlahovým potrubím .....	- 6 -
<b>Obr. 2.6</b> Vyústění spodních výpustí do odpadní štoly .....	- 7 -
<b>Obr. 2.7</b> Opevněný vývar .....	- 8 -
<b>Obr. 2.8</b> Odpadní koryto pod hrází .....	- 8 -
<b>Obr. 3.1</b> Základní prostředí programu .....	- 12 -
<b>Obr. 3.2</b> Grafický výstup .....	- 12 -
<b>Obr. 3.3</b> Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění .....	- 14 -
<b>Obr. 3.4</b> Křivky a) vzdutí, b) snížení .....	- 14 -

### 8.2 SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 2.1</b> N – leté průtoky a objemy teoretických povodňových vln při n-letých $Q$ ....	- 10 -
<b>Tab. 6.1</b> Hlavní výsledky variantních řešení .....	- 39 -

### 8.3 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Původní stav</b>	– Výpočtová část
	1. Batygrafické křivky – nádrž Těšetice
	2. Batygrafické křivky – Bohuňovský rybník
	3. MK spodních výpustí – grafické zpracování
	4. MK spodních výpustí – tabelární zpracování
	5. MK bezpečnostního přelivu – grafické zpracování
	6. MK bezpečnostního přelivu původní – tab. zpracování
	7. MK bezpečnostního přelivu nový – tabelární zpracování
	8. Hydrogram 200 – leté povodňové vlny
	9. Hydrogram 1000 – leté povodňové vlny
	10. Transformace PV 200
	11. Transformace PV 1000
	12. MK škrticího otvoru – grafické zpracování
	13. MK škrticího otvoru – tabelární zpracování
	14. MK odpadní štoly – grafické zpracování
	15. MK odpadní štoly – tabelární zpracování
	16. MK souhrnná – grafické zpracování
	17. MK souhrnná – tabelární zpracování
	– Výkresová část
	1. Řez hrází M 1 : 250
	2. Podrobná situace hráze M 1 : 1000
	3. Podélný řez sdruženým objektem M 1 : 250
	4. Půdorys původního bezpečnostního objektu M 1 : 200
	5. Řezy původního bezpečnostního objektu M 1 : 100

**Návrhová varianta „A“ – Výpočtová část**

1. MK bezpečnostního přelivu – grafické zpracování
2. MK bezpečnostního přelivu – tabelární zpracování
3. Transformace PV 1000
4. MK souhrnná – grafické zpracování
5. MK souhrnná – tabelární zpracování

**– Výkresová část**

1. Podrobná situace hráze v. „A1“ M 1 : 1000
2. Podélný řez původním sdruženým objektem M 1 : 200
3. Podélný řez novým sdruženým objektem M 1 : 250
4. Půdorys bezpečnostního objektu v. „A1“ M 1 : 200
5. Řez spadiště M 1 : 100
6. Řez skluzu M 1 : 50
7. Podrobná situace hráze v. „A2“ M 1 : 1000
8. Půdorys bezpečnostního objektu v. „A2“ M 1 : 200

**Návrhová varianta „B“ – Výpočtová část**

1. MK bezpečnostního přelivu – grafické zpracování
2. MK bezpečnostního přelivu – tabelární zpracování
3. Transformace PV 1000
4. MK škrťacího otvoru – grafické zpracování
5. MK škrťacího otvoru – tabelární zpracování
6. MK odpadní štoly – grafické zpracování
7. MK odpadní štoly – tabelární zpracování
8. MK souhrnná – grafické zpracování
9. MK souhrnná – tabelární zpracování

**– Výkresová část**

1. Podrobná situace hráze v. „B1“ M 1 : 1000
2. Podélný řez sdruženým objektem M 1 : 200
3. Půdorys bezpečnostního objektu v. „B1“ M 1 : 200
4. Řez vývar M 1 : 100
5. Řezy odpadní štola M 1 : 50
6. Podrobná situace hráze v. „B2“ M 1 : 1000
7. Půdorys bezpečnostního objektu v. „B2“ M 1 : 200
8. Řezy odpadní štola M 1 : 50

**Návrhová varianta „C“ – Výpočtová část**

1. MK bezpečnostního přelivu – grafické zpracování
2. MK bezpečnostního přelivu – tabelární zpracování
3. Transformace PV 1000
4. MK souhrnná – grafické zpracování
5. MK souhrnná – tabelární zpracování

**– Výkresová část**

1. Podrobná situace hráze M 1 : 1000
2. Podélný řez novým sdruženým objektem M 1 : 250
3. Půdorys bezpečnostního objektu M 1 : 200
4. Řez spadiště M 1 : 100
5. Řez skluzu M 1 : 50

**Návrhová varianta „D“ – Výpočtová část**

1. MK bezpečnostního přelivu – grafické zpracování
2. MK bezpečnostního přelivu – tabelární zpracování
3. Transformace PV 1000
4. MK souhrnná – grafické zpracování
5. MK souhrnná – tabelární zpracování

**– Výkresová část**

1. Podrobná situace hráze M 1 : 1000
2. Podélný řez původním sdruženým objektem M 1 : 250
3. Půdorys původního bezpečnostního objektu M 1 : 200
4. Řezy původního bezpečnostního objektu M 1 : 100

**8.4 SEZNAM SYMBOLŮ****8.4.1 Seznam symbolů**

$Q$	průtok	$[m^3/s]$
$g$	tíhové zrychlení	$[m\ s^{-2}]$
$\mu$	součinitel výtoku	$[-]$
$\alpha$	Coriolisovo číslo	$[-]$
$B$	šířka průtočné plochy	$[m]$
$H$	výška průtočné plochy	$[m]$
$i$	podélný sklon vtokového objektu	$[-]$
$n$	drsnost dna, břehů dle Manninga	$[-]$
$S$	průtočná plocha	$[m^2]$
$v$	rychlost proudění kapaliny	$[m/s]$
$b$	délka přelivné hrany	$[m]$
$n$	počet kontrakcí	$[-]$
$h$	přepadová výška	$[m]$
$\xi$	součinitel závislý na charakteru kontrakce	$[-]$
$\sigma_z$	součinitel zatopení	$[-]$
$b_0$	účinná délka přelivné hrany	$[m]$
$m$	součinitel přepadu	$[-]$
$h_c$	hloubka provzdušněného proudu v kritickém profilu	$[m]$
$Fr_c$	Froudovo kritérium v kritickém profilu	$[-]$
$tg\alpha$	úhel rozevření divergentního vývaru	$[^\circ]$
$b_c$	šířka skluzu v kritickém profilu	$[m]$
$\sigma$	míra vzdutí vodního skoku	$[-]$
$h_2$	druhá vzájemná hloubka vodního skoku	$[m]$
$h_d$	hloubka vody v odpadním korytě	$[m]$
$\beta$	Boussinesqovo číslo	$[-]$
$b$	šířka vývaru	$[m]$
$h_{1(c)}$	první vzájemná hloubka	$[m]$
$W_{PV_{1000}}$	objem povodňové vlny s dobou opakování $N = 1000$ let	$[m^3]$
$t_{PV_{1000}}$	doba trvání povodňové vlny dobou opakování $N = 1000$ let	$[m^3]$